

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE TÚNEL DE VIENTO PARA ENSAYO DE PERFILES DE SUPERFICIES DE PALAS PARA AEROGENERADOR

**A.M. Samela, P. J. Bahamonde, O. Szewczuk, A. L. IbarretaFañanas, V. Forchino, C.
Tommasi**

Grupo de Investigaciones Tecnológicas en Energía Renovables (GITER)
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Cruz
Inmigrantes 555, Río Gallegos, Argentina.

adolfosamela@yahoo.com.ar⁽¹⁾

Recibido 11/09/15, aceptado 14/10/15

RESUMEN: Se diseñó y construyó un Túnel de Viento subsónico a ser utilizado para la medición de magnitudes físicas, correspondientes a diferentes perfiles de palas para aerogeneradores. Los esfuerzos se concentraron en la realización de un banco de medición de magnitudes físicas en el túnel de viento, dónde montar los sensores y conectarlos a una placa de adquisición de datos de modo de poder, a través de un software e interfaz gráfica, visualizarlos y controlarlos. Este objetivo general se puede desglosar a su vez en dos. Por un lado, el diseño y conformación del sistema de medición, sistema de control de velocidades mediante variadores de frecuencia para el ventilador y por otro lado, la selección y evaluación de los equipos de medidas y del sistema de adquisición de datos que conforman en su conjunto el banco de medición.

Palabras clave: Túnel de viento, ensayo perfil de palas aerogenerador, energía eólica

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de la energía eólica, se ha extendido rápidamente con el paso del tiempo, sin embargo, existen aún sitios donde, a pesar de contar con los medios energéticos necesarios, no se está haciendo uso de dicho recurso por falta de tecnología apropiada. Es por eso que desde la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Cruz, se ha propuesto un estudio de perfiles de palas, para encontrar el diseño óptimo para el aprovechamiento de las condiciones de viento presentadas en la zona de la Patagonia Austral, caracterizado por vientos fuertes, rafagosos, con arrastre de partículas. Para ello, se debía contar con una herramienta capaz de realizar dicho estudio. Allí surgió la propuesta del diseño y construcción de un túnel de viento.

Básicamente un túnel de viento es un dispositivo aerodinámico que sirve como herramienta de investigación, construida para estudiar los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos. En él se pueden simular las condiciones experimentadas por el objeto en la situación real, por ejemplo aerogeneradores.

Con ayuda de modelos computarizados a escala es posible predecir el comportamiento de vehículos, edificios, estructuras, etc., lo que ayuda a la minimización de costos y tiempo en las construcciones.

Para su realización, se dividió la propuesta en dos objetivos, el primero basándose en la construcción de la estructura del túnel, definiendo previamente el tamaño adecuado para la ejecución del ensayo de

palas, y como segundo objetivo, el estudio, elección e instalación de los sensores necesarios para la toma de datos, de los parámetros físicos de interés.

Dada las características del grupo de trabajo, conformado por profesionales, investigadores, becarios de investigación, estudiantes avanzados de Ingeniería Electromecánica e Industrial de la UTN Facultad Regional Santa Cruz, este proyecto contribuyó también a la formación didáctica de materias afines a la fluidodinámica, física y electrónica.

DESARROLLO DEL TRABAJO

Para comenzar a dimensionar la estructura, se definieron los parámetros de mayor interés a ser medidos, siendo éstos los que definen las condiciones del aire, tanto a la entrada como a la salida del túnel. Una vez definidos los parámetros de interés y dimensionado el túnel, se prosiguió a la selección de la instrumentación y el sistema de adquisición de datos.

A continuación se presentan los esquemas realizados para el dimensionamiento de la estructura del túnel.

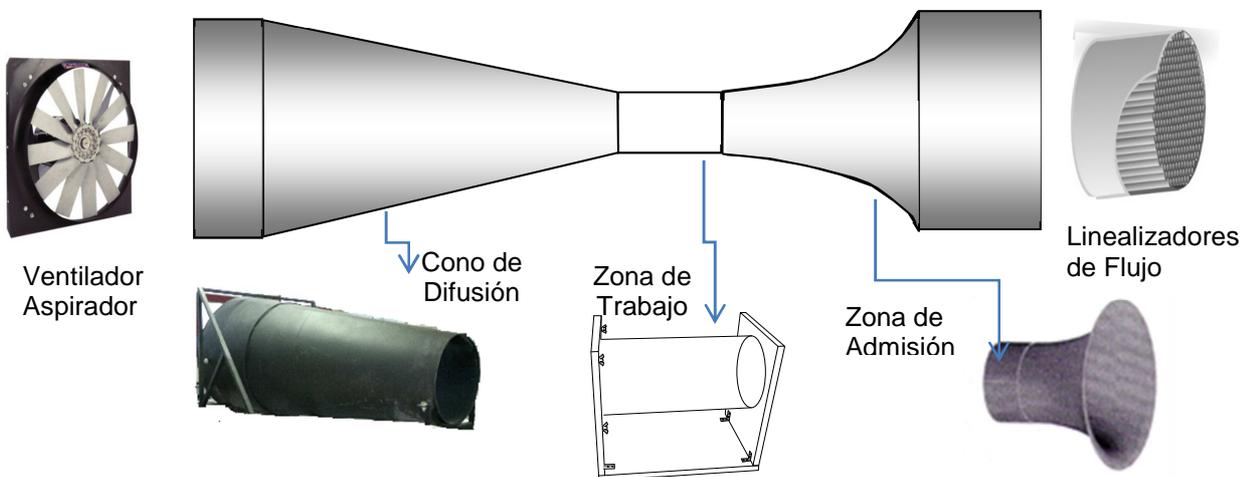


Figura 1: Primer bosquejo del modelo de túnel a construir.

Cada una de las partes presentadas en la figura 1, debieron ser esquematizadas y diagramadas, previas a su construcción, haciendo que el diseño general de la estructura del túnel se divida en cinco etapas. Dadas las características tecnológicas no convencionales en la construcción de este equipo, el grupo de trabajo (profesionales, técnicos y becarios) decidió abocarse a la tarea de la construcción integral de los mismos, utilizando los talleres y laboratorios con que cuenta la institución. Esto aportó al conocimiento detallado de cada parte de la estructura y las distintas zonas en que se divide el sistema.

Zona de trabajo

Debido a su importancia, ya que esta sección es donde se realiza el ensayo, fue la primera en ser dimensionada, considerando que es donde debe colocarse el modelo de pala a ensayar, controlando que el flujo de aspiración generado por el ventilador, presente unas características de turbulencia y velocidad idónea.

Para su diseño se consideró también, la accesibilidad para la manipulación del modelo y los diferentes instrumentos de medida necesarios para el ensayo, así como la correcta caracterización del flujo para reproducir el entorno deseado. Se escogió una geometría cilíndrica de acrílico, puesto que facilitan la operación, y que su superficie interna no presenta rugosidad significativa, de modo que las variaciones de velocidad y presión dinámica del flujo no superen el 25% y 50% de sus valores medios, respectivamente. Un valor de 2, es una tasa usual longitud - diámetro de esta sección en instalaciones de túnel de viento.

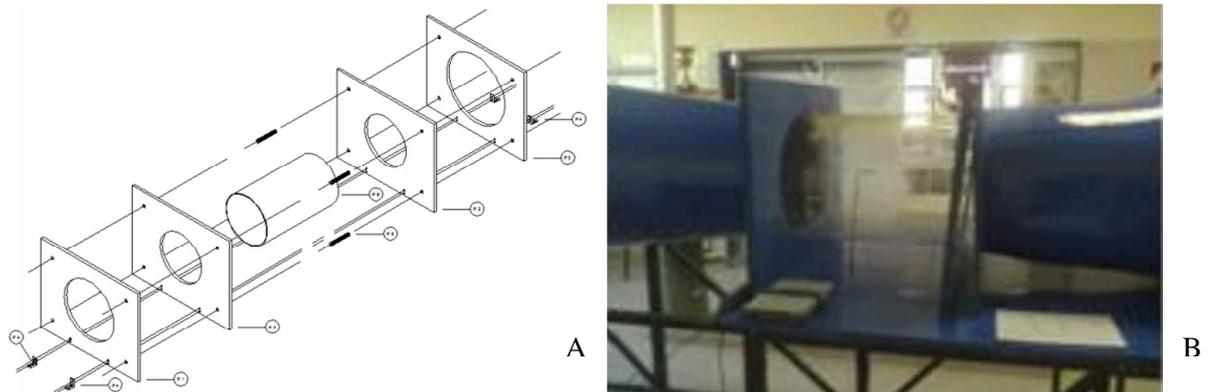


Figura 2:A) Bosquejo del modelo de la zona de trabajo, B) Fotografía de la zona de trabajo terminada

Las medidas resultantes del cilindro acrílico son: longitud 0,60 m; diámetro 0,52m; espesor 0,004m.

Tobera de admisión

La función de esta componente, es la de aumentar la velocidad del flujo. Tal aceleración es generada mediante una reducción gradual de la sección recta de la tobera, produciendo un incremento continuo, reduciendo el grosor de la capa límite en la cámara de ensayo y evitando la formación de vórtices. Se observa mediante la ecuación de Bernoulli para fluidos ideales, que el incremento de velocidad a la salida de esta sección, va acompañado de una reducción de presión en la misma.

Los cálculos correspondientes a la tobera de admisión, son los siguientes:

$$\dot{m} = 1,41 C_n A_t (P_v V'_n)^{0,6}$$

Donde:

- \dot{m} : Caudal másico que atraviesa la primera sección del túnel
- V'_n : El volumen específico de aire en la 1ra sección a la presión barométrica normal por unidad de masa del aire en las condiciones de ensayo (m^3/Kg) y
-

$$V'_n = 10,1 * 10^{-4} \left(\frac{V_n}{P_n} \right) (1 + W_n)$$

- C_n : Coeficiente de descarga de la 1ra sección (adimensional)
- A_t : Área de la superficie en estudio (m^2)
- P_v : Presión dinámica en la garganta de la tobera (Pa)
- P_n : Presión absoluta en la garganta de la 1ra sección (Pa)
- W_n : Humedad absoluta del aire en ($\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{aire seco}}$)

Por el número de Reynolds obtenido en los cálculos preliminares, se eligió un coeficiente de descarga de 0,99.

Si bien, la variedad de materiales aptos para la construcción de la tobera es vasta, en este caso se escogió poliuretano expandido (mezcla de isocianato y polioli) para la tobera, el cual fue trabajado y pulido manualmente hasta conseguir las curvas de diseño. El molde fue construido de flejes metálicos revestidos con resinas poliuretánicas. Tanto la construcción del molde como de la tobera estuvo a cargo de los profesionales, becarios y técnicos del proyecto.

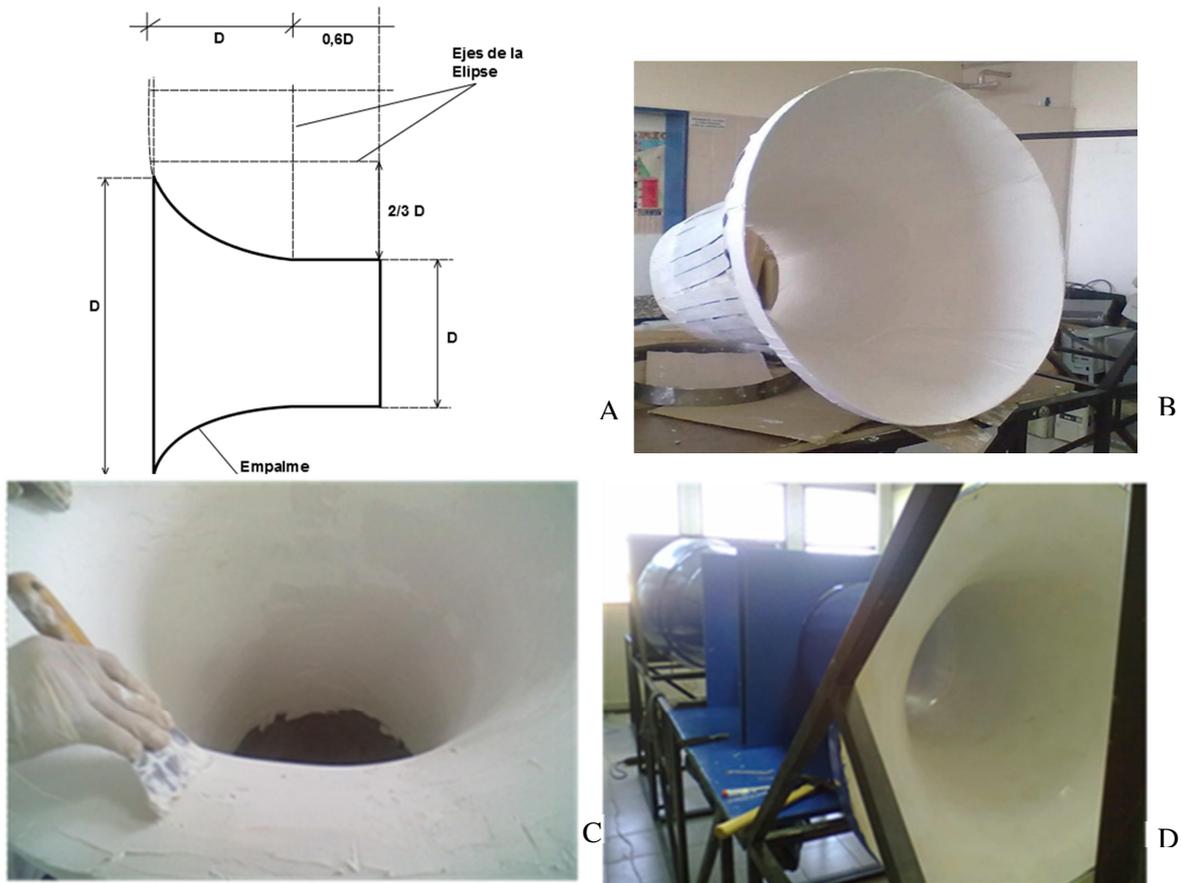


Figura 3: A) Diseño en papel de la tobera de admisión, B) y C) Fotografías de la construcción de la tobera de admisión. D) Fotografía de la tobera terminada

Linealizadores de flujo

Con el fin de reducir significativamente la turbulencia en el flujo se utilizaron “venas correctoras”, las cuales consisten en un haz de tubos dispuestos paralelamente y fueron diseñadas para redistribuir el perfil de velocidad, acercando las condiciones a las aceptables de flujo a la entrada del túnel.

Consiste en un arreglo de tubos pegados entre sí, contruidos de policloruro de vinilo, del mismo largo y sección que buscan reducir la turbulencia. Está formado por tubos de 0,0127 m diámetro y 0,30 m de largo dispuestos en forma comprimida y paralelos a la entrada del túnel. Este haz de tubos ocupa toda la sección del diámetro interior de la tubería en la cual va a ser instalado. Para su construcción se utilizaron tubos comerciales, dispuestos en un diámetro de 0,97m

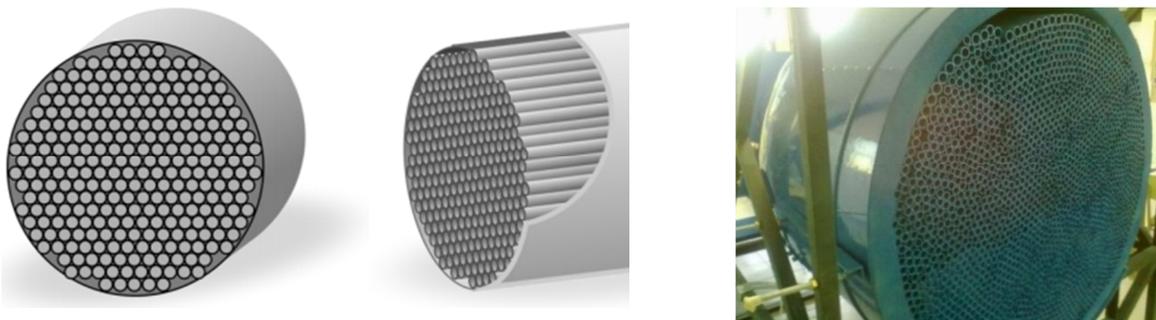


Figura 4: A) Diseño digital de los linealizadores de flujo, B) Fotografía de los linealizadores de flujo una vez instalados

Tobera de difusión

Esta pieza fue construida de forma cónica troncada, de material metálico (chapa de hierro número 18), realizada en los talleres de la UTN Facultad Regional Santa Cruz, cuyas medidas son: diámetro menor 0,52 m; diámetro mayor 1,06 m; longitud 2,16 m.

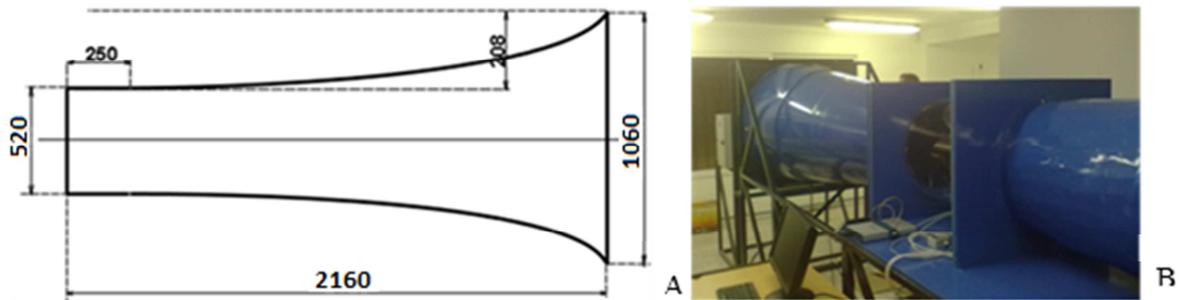


Figura 4: A) Diseño digital del difusor, B) Fotografías del difusor y la zona de trabajo, la placa de adquisición de datos y la PC

Ventilador

Es de tipo axial, con un motor de una potencia de 2.00 HP. Produce una corriente de aspiración de aire, lo cual crea una depresión dentro del túnel, obligando a que el flujo de aire atraviese los tubos linealizadores de la tobera en forma pareja. La velocidad puede ser variada para que la medición sea precisa.



Figura 5: Fotografía del ventilador utilizado

Para solidarizar el ventilador con el difusor, se construyó un soporte de bastidores de caños estructurales, abulonados con juntas de aislación anti-vibraciones.

Sistema de Control de Velocidades

El sistema de control de velocidades consta de un variador tipo Modelo: VFD055E43A que posee un accionamiento de variación de frecuencia, para un motor trifásico; y con un rango de potencia desde 0,2 hasta 7,5 kW. Está provisto de una función PLC integrada y posee un panel de operador estándar que funciona como un monitor de estado, con modificación de parámetros partida/parada, alteraciones de velocidad y exhibición de estado. También puede detectar sobrecargas/sobrecorrientes. Puede programarse para proteger contra cortocircuitos y reiniciación tras cortes y sobrecalentamiento del motor.



A



B

Figura 6: A) Fotografía del variador de frecuencias B) Tablero de comandos

Sistema de adquisición de datos

En la etapa de diseño del sistema de adquisición, se designaron las características de interés a ser medidas, con la sección de trabajo sin modelo: temperatura, humedad, presión barométrica, velocidad, y con un modelo en la sección de trabajo: presiones superficiales y fuerza. Para ello se adquirieron un sensor de temperatura y uno de humedad, a ser dispuestos dentro de la cámara, un sensor de presión barométrica, un tubo de Pitot para contrastar resultados y un anemómetro telescópico de molinete para calibración.

Para poder trabajar con los sensores y obtener datos derivados de las mediciones, se realizó la compra de una placa de adquisición de datos comercial, National Instruments multicanal de 16 entradas, 2 salidas analógicas y 24 entradas/salidas binarias. Y para trabajar con ella, se adquirió una licencia del software de instrumentación LabView con el cual se proyectaron en pantalla de una PC, los instrumentos virtuales, y los resultados de las mediciones de interés.

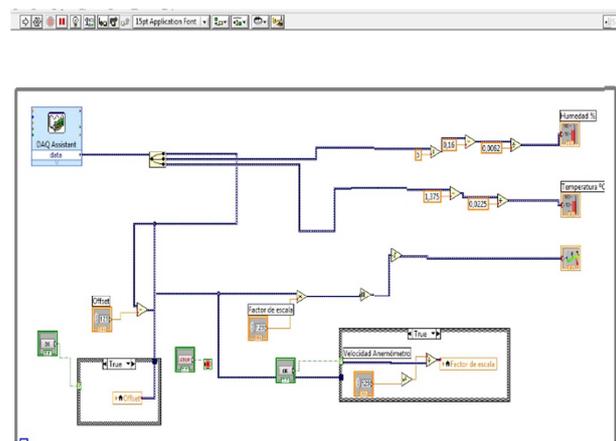
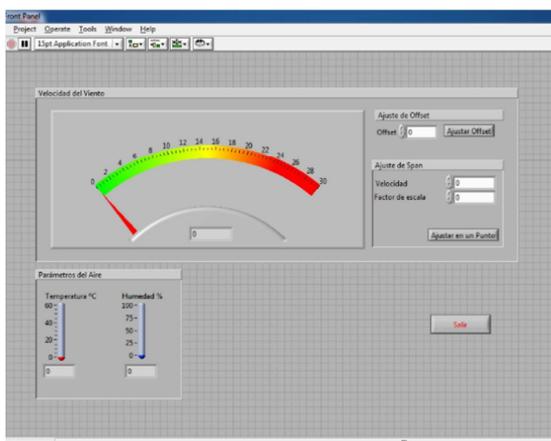


Figura 7: A) Panel de control en LabView, B) Diagrama en bloques del programa mostrado en la figura A

El sistema general de mediciones y control de velocidad de flujo, se resume en la figura a continuación

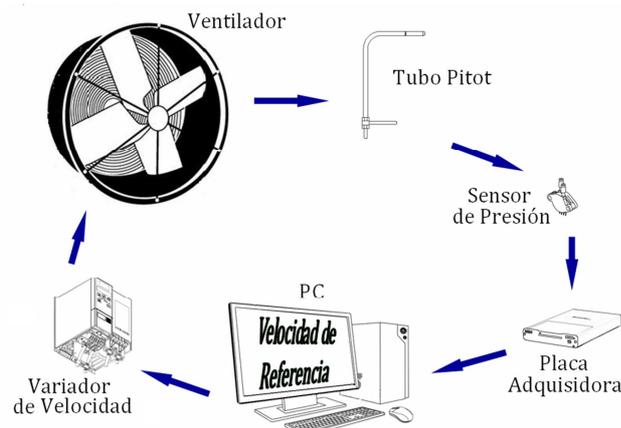


Figura 8: Lazo cerrado de control general del sistema

Primeros resultados

Se trata de un desarrollo experimental y como resultado un producto apto para la investigación y la docencia. La construcción del túnel, demandó mayor solicitud de trabajo y tiempo que el previsto, lo cual retrasó la planificación de los ensayos a realizar. La performance del funcionamiento del túnel con modelos didácticos (modelo de esferas, cilindros, gota, etc.) superó las expectativas fluidodinámicas. La linealidad del flujo laminar permitió que los ensayos den resultados satisfactorios. La variación de velocidad del motor del ventilador, logró un rango de velocidades de flujo de aire desde 2 m/s a 26 m/s.

CONCLUSIÓN

En base a la experiencia adquirida en los primeros ensayos, se puede concluir que se obtuvo un Túnel de Viento versátil, que permite probar tanto diseños de palas en 3D como también modelos de aerogeneradores a escala. Aunque el sistema cumplió con las expectativas para lo cual fue construido, resulta prematuro arriesgar resultados más precisos, quedando en espera las próximas publicaciones con los resultados de los ensayos de nuevos modelos de palas. Este equipo también puede ser utilizado para otro tipo de estudios a pesar que, de momento, éstos no han sido aún previstos.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- 1_ Eckert, William T.; Mort, Kemeth K. Mort, JopeJeu. (1976). Aerodynamic design guidelines and computer program for estimation of subsonic wind tunnel performance. TN D-8243. Ames Research Center und U.S. Army Air Mobility RGD Laboratory. Washington.
- 2_ American Institute of Aeronautics and Astronautics. (2003). Recommended practice: wind tunnel testing. TL567.W5R437 American Institute of Aeronautics and Astronautics. Reston
- 3_ American Institute of Aeronautics and Astronautics. (2003). Recommended practice: calibration of subsonic and transonic wind tunnels. TL567.W5R435 American Institute of Aeronautics and Astronautics. Reston
- 4_ Barlow, Jewel B.; Rae William H., Pope Alan. (1999). Low speed wind tunnel testing. 3ª edición. Wiley Interscience, New York
- 5_ Software LabView. 2015. Part Number 779252-3501

ABSTRACT

Design and build experience of a subsonic wind tunnel, for physical magnitudes measurement purpose on wind turbine blade's shape. The efforts have been focus on the construction of a measurement panel, where sensors inside the tunnel are connected to a data acquisition device which shows and control physical magnitudes, through a computer software. The main objective can be shown as two particular objectives, the first one is the design and build of the measurement system and speed control system by varying the frequency of the fan blade's movement. The second objective was based on selection and evaluation of measurement equipment and the data acquisition system, leading this decision to satisfactory results.

Keywords: Wind tunnel, Wind turbine blade's, Eolic energy